

## AZIONE 6

**Contributo piemontese al progetto  
Verbano: ottimizzazione della  
regolazione del lago Maggiore  
finalizzata alla riduzione dei danni  
alluvionali ed alla valorizzazione  
delle risorse umane**

---

Contributo dei partner italiani:

Secondo BARBERO  
Regione Piemonte - Settore Meteoidrografico e reti di  
Monitoraggio

Alessandro MARCHI, Valter AMBROSETTI  
CNR - Istituto di Idrobiologia M. De Marchi

Contributo dei partner svizzeri:

Giorgio SALVADÈ, Laura FOGLIA,  
Stefano PISANI, Claudio PERVANGHER  
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana  
- Istituto Scienze della Terra



## VI-1. INTRODUZIONE

Le problematiche di regolazione del Lago Maggiore sono state affrontate nel progetto "Verbano", sviluppato nell'ambito dei programmi INTERREG II, che ha avuto come obiettivo la ricerca di soluzioni attraverso la realizzazione di interventi strutturali e di una nuova politica di gestione dei livelli del lago. Tali soluzioni devono minimizzare i danni causati da eventi alluvionali tanto a monte quanto a valle del lago, minimizzare i danni causati dalla mancata fornitura idrica agli utenti irrigui e idroelettrici di valle nonché quelli subiti dalla navigazione e dal turismo quando si deprimono eccessivamente i livelli e contemporaneamente garantire un deflusso minimo del Ticino a valle dello sbarramento di Pamperduto.

La gestione dei livelli del lago richiede la conoscenza dei contributi idrici forniti dagli affluenti tra cui il fiume Toce che si sviluppa in Piemonte; l'azione 6 ha la finalità di integrare appunto sull'area piemontese gli studi per la gestione in tempo reale dei rischi alluvionali nel Verbano.

Nello specifico l'azione 6 ha riguardato:

1. la taratura e l'integrazione del bacino del fiume Toce nel modello idrologico previsionale della quota del lago Verbano durante eventi alluvionali, sviluppato presso l'Istituto Scienze della Terra di Cadenazzo (Canton Ticino) nell'ambito del progetto "Verbano";
2. la definizione di soglie pluviometriche nella Valle Ossola per l'interpretazione dei dati di monitoraggio pluviometrico in tempo reale.

## VI-2. MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico, sviluppato presso l'Istituto Scienze della Terra, cerca di dare una risposta, basata su ipotesi ben definite, alla protezione civile e alle autorità politiche che, in caso di preallarme alluvionale, desiderano essere informate sull'evoluzione futura delle portate dei fiumi e sull'eventuale esondazione del lago.

A causa del corto tempo di risposta (tra 4 e 6 ore) del bacino imbrifero del Verbano a un impulso di pioggia, una previsione a lungo termine non può essere fatta senza tenere conto delle piogge previste. La difficoltà consiste nella trasformazione del quantitativo di precipitazione in portata in entrata al lago, dovuta alle differenze morfologiche tra i bacini e alla non uniformità areale della pioggia.

Per la trasformazione pioggia/deflussi è stato scelto il metodo di Nash e del CN (Chow, 1988).

Basilare per lo sviluppo dell'azione 6 è stata la

realizzazione dell'azione 1: Condivisione dei dati meteoroidrologici in tempo reale, in differita e storici. In effetti, gli scambi di informazioni in tempo reale sono indispensabili per valutare l'ampiezza di un fenomeno che interessa più regioni, mentre lo scambio dei dati storici ha permesso di tarare il modello previsionale dell'idrogramma delle portate del Toce, ossia di trovare quei parametri fisici che caratterizzano i metodi di trasformazione della pioggia in deflussi.

### VI-2.1. Distribuzione areale delle piogge

Avendo a disposizione un unico punto di misura di portata del fiume Toce a Candoglia, si è dovuto considerare il bacino imbrifero come un unico bacino, con sezione di chiusura a Candoglia. L'area stimata del bacino è di 1537 km<sup>2</sup>.

La tabella VI-1 e la figura VI-1 elencano le stazioni pluviometriche di cui la Regione Piemonte invia i dati in tempo reale.

Questi dati puntiformi devono essere poi estrapolati su scala areale per determinare la quantità di pioggia caduta su tutto il bacino.

Diversamente da quanto fatto per i bacini del Canton Ticino, per i quali si è utilizzato in parte il metodo di Thiessen, per il bacino del Toce è stato fatto riferimento alla "Carta delle potenzialità pluviometriche di 12 mesi" elaborata dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istituto Italiano di Idrobiologia).

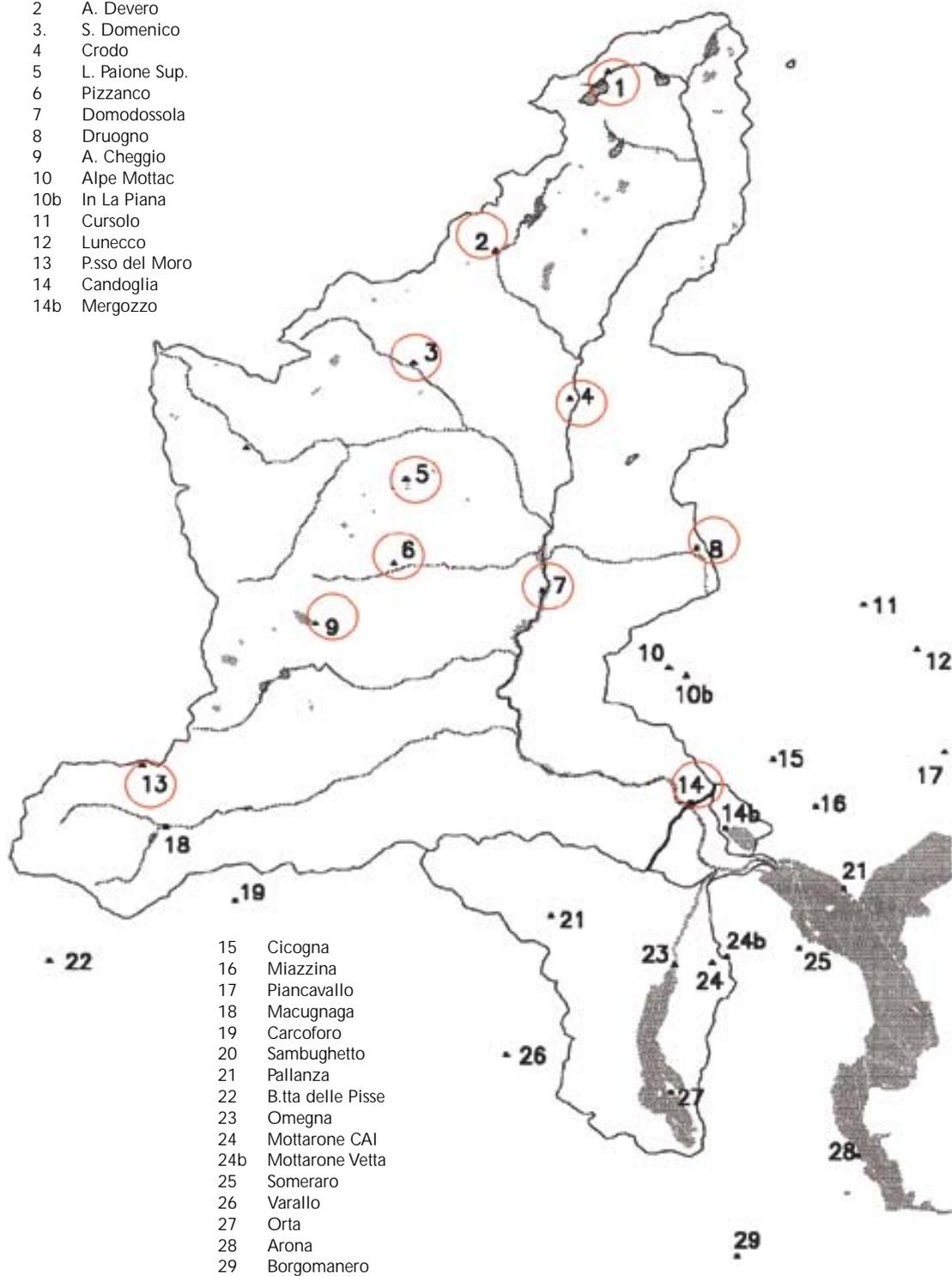
Il bacino è stato diviso in quattro zone a seconda della piovosità e si è calcolato la percentuale rappresentata da ciascuna zona rispetto all'estensione totale del bacino (Foglia L., 2000).

 Tabella VI-1. Località pluviometri

<b>Pluviometri Regione Piemonte</b>
Antrona - Alpe Cheggio
Baceno - Alpe Devero
Bognanco - Pizzanco
Crodo
Corsolo
Druogno
Stresa - Someraro
Varzo - S. Domenico
Lago Paione
Domodossola
Stresa - Mottarone
Formazza - Piano dei Camosci
Macugnaga - Passo del Moro
Mottac
Sambughetto
Candoglia
Pallanza

## STAZIONI PLUVIOMETRICHE

- 1 Pian dei Camosci
- 2 A. Devero
- 3 S. Domenico
- 4 Crodo
- 5 L. Paione Sup.
- 6 Pizzanco
- 7 Domodossola
- 8 Druogno
- 9 A. Cheggio
- 10 Alpe Mottac
- 10b In La Piana
- 11 Cursolo
- 12 Lunecco
- 13 P.sso del Moro
- 14 Candoglia
- 14b Mergozzo



- 15 Cicogna
- 16 Miazzina
- 17 Piancavallo
- 18 Macugnaga
- 19 Carcoforo
- 20 Sambughetto
- 21 Pallanza
- 22 B. Ita delle Pisse
- 23 Omegna
- 24 Mottarone CAI
- 24b Mottarone Vetta
- 25 Someraro
- 26 Varallo
- 27 Orta
- 28 Arona
- 29 Borgomanero

Figura VI-1. Ubicazione pluviometri

Per determinare il valore medio della pioggia caduta sul bacino, viene prima calcolata la media fra i pluviometri appartenenti alla stessa zona e poi eseguita una media pesata fra i quattro valori medi in base alla percentuale rappresentata da ciascuna zona rispetto all'estensione totale del bacino. La tabella seguente descrive le quattro zone pluviometriche con le rispettive estensioni e i pluviometri (cerchio rosso di figura VI-1), appartenenti al bacino chiuso a Candoglia, associati a ciascuna di esse.

mm/annui	Estensione		No.	Pluviometri
	(km <sup>2</sup> )	(%)		
<1300	286,2	18,4	3	Pian dei Camosci, Crodo, Passo del Moro
1300-1700	1044,1	68,0	5	Alpe Devero, Varzo Lago Paione, Domodossola, Alpe Cheggio
1700-2000	136,7	9,0	2	Druogno, Pizzanco
2000-2500	70,0	4,6	1	Candoglia

Tabella VI-2. Descrizione zone pluviometriche

Attualmente si sta studiando la possibilità di integrare le misure del radar del Monte Lema con le misure puntiformi dei pluviometri nell'estrapolazione su scala areale delle piogge.

## VI-2.2. Trasformazione pioggia/deflusso

Lo scopo del modello è di trasformare lo ietogramma delle piogge, determinato in base alle considerazioni del punto 2.1, nell'idrogramma della portata che attraversa la sezione di chiusura a valle del bacino.

Per questa trasformazione è stato utilizzato un modello di tipo concettuale, ossia un modello dove la schematizzazione del bacino imbrifero avviene tramite un sistema fisico molto semplificato in cui l'effetto di tutti i processi è descritto da poche equazioni con pochi parametri.

Il calcolo dell'idrogramma alla sezione di chiusura avviene in due fasi:

- depurazione delle piogge: separazione della frazione che ruscella superficialmente da quella che si infiltra. Per il modello idrologico previsionale della quota del Verbano e quindi anche per il bacino del Toce, è stato applicato il metodo del CN;

- convoluzione delle piogge depurate: calcolo dello spostamento della frazione ruscellante dal punto in cui precipita fino alla sezione di chiusura del bacino. Per il modello previsionale è stato applicato il metodo di Nash.

### VI-2.2.1. Metodo del CN

Questo metodo, sviluppato dal Soil Conservation Service, parte da un'equazione di bilancio (Chow, 1988) valida per ogni istante  $t$  dopo l'inizio delle precipitazioni:

$$Q = P - S' \quad (1)$$

dove  $Q$  è la frazione di pioggia (in mm) ruscellante fino all'istante  $t$ ,  $P$  è la pioggia (in mm) complessiva caduta fino all'istante  $t$  e  $S'$  la frazione di pioggia (in mm) complessivamente infiltrata fino all'istante  $t$ .

Si ipotizza, quindi, che le uniche perdite (oltre al taglio iniziale che sarà discusso dopo) siano per infiltrazione.

Il calcolo delle perdite per infiltrazione  $S'$  parte dalla seguente relazione:

$$S' = S \cdot P/Q \quad (2)$$

dove  $S$  (in mm) è il volume massimo immagazzinabile dal terreno a saturazione e viene anche detta capacità di campo.  $S$  viene fatto dipendere da un parametro CN tramite una relazione del tipo:

$$S = 25400/CN - 254 \quad (3)$$

Inserendo l'equazione (2) nella (1) si ottiene:

$$Q = \frac{P^2}{P+S} \quad (4)$$

Occorre ancora tenere conto che una parte delle precipitazioni si invasa nelle depressioni superficiali e che una parte si infiltra prima che il deflusso (ruscellamento) abbia inizio. Indicando con  $I$  (in mm) la pioggia che deve cadere prima che possa avere inizio il ruscellamento, l'equazione (4) diventa:

$$Q = \frac{(P-I)^2}{P-I+S} \quad (5)$$

Nella procedura standard si assume che  $I$  sia una frazione fissa di  $S$ :  $I = 0.2S$ . Spesso, soprattutto se il terreno ha già un certo grado di saturazione,  $I$  assume un valore inferiore e, pertanto, è più opportuno

inserirlo come parametro nel programma.

Le simulazioni effettuate con i dati di eventi storici hanno evidenziato che il parametro CN varia da evento a evento, dipendendo fortemente dalle condizioni di saturazione del terreno all'inizio dell'evento. Per cui nel tentativo di prevedere la portata futura del fiume (che è lo scopo del modello idrologico previsionale), il modello tenta di determinare il valore del CN che più avvicina la portata simulata a quella misurata all'istante di inizio della previsione.

### VI-2.2.2. Metodo di Nash

Dopo aver calcolato con il metodo del CN quanta acqua affluirà alla vasca di ritenzione, occorre stabilire quando quest'acqua giungerà alla sezione di chiusura del bacino imbrifero. Il metodo di Nash è uno dei metodi per realizzare questo calcolo. Esso si basa su due ipotesi.

- Il bacino è schematizzato come una serie di n serbatoi lineari in cascata. Con serbatoio lineare si intende un serbatoio nel quale la portata q uscente dallo stesso è direttamente proporzionale al volume immagazzinato V:  $V = k \cdot q$  dove k è la costante caratteristica del bacino.
- Vale l'equazione di continuità:

$$\frac{dV}{dt} = i - q \quad \text{dove } i \text{ è la portata entrante} \quad (6)$$

Combinando queste due ultime relazioni (v. Chow, 1988) è possibile mettere in relazione la portata uscente con quella entrante per un singolo serbatoio lineare:

$$q(t) = \int_0^t i(\tau) u(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

dove:

$$u(t-\tau) = \frac{1}{k} e^{-\frac{t-\tau}{k}}$$

è chiamato idrogramma istantaneo unitario.

La relazione (7) esprime il fatto che la portata q al tempo t è data dalla sovrapposizione di una serie di impulsi in ingresso  $i(\tau)$  che sono emessi tra l'istante 0 e l'istante t e che sono trasportati alla sezione di chiusura del bacino tramite una funzione di risposta impulsiva  $u(t - \tau)$  dipendente dal tempo  $t - \tau$  intercorso dall'emissione dell'impulso.

Poiché il bacino di raccolta è schematizzato con una serie di n serbatoi in cascata, la porta-

ta  $q(t)$  in uscita dal primo serbatoio viene utilizzata come portata in ingresso per il secondo serbatoio per calcolare, con la relazione (7), la portata uscente dal secondo serbatoio e così di seguito.

La portata  $\bar{q}(t)$  all'uscita dal n-esimo serbatoio, ossia la portata in funzione del tempo che affluirà alla sezione di chiusura, è calcolabile dalla relazione:

$$\bar{q}(t) = \int \bar{i}(\tau) \cdot \bar{u}(t - \tau) d\tau \quad (9)$$

dove:

$$\bar{u}(t-\tau) = \frac{1}{k \cdot (n-1)!} \left( \frac{t-\tau}{k} \right)^{n-1} e^{-\frac{t-\tau}{k}} \quad (10)$$

e  $\bar{i}(\tau)$  è la frazione ruscellante di pioggia in funzione del tempo (in mm/h).

Con questo metodo, che schematizza tramite i parametri k e n tutti i processi fisici, si riesce a simulare due effetti:

- il tempo necessario alle particelle d'acqua per spostarsi dal punto in cui precipitano alla sezione di chiusura;
- l'appiattimento del picco (laminazione) di pioggia poiché le piogge che cadono nello stesso istante (ad esempio nell'istante di intensità massima) arrivano sfasate alla sezione di chiusura.

L'analisi di eventi storici ha mostrato che questi due parametri per lo stesso bacino variano poco da evento a evento, dipendendo quasi esclusivamente dalle caratteristiche morfologiche del bacino (almeno per portate simili) e quindi possono essere determinati come media fra i valori ottenuti calibrando il modello su eventi noti.

### VI-2.3. Calibrazione del modello idrologico

L'applicazione del modello idrologico agli eventi storici, noti tramite l'azione 1, ha permesso di identificare i parametri fisici che caratterizzano il bacino del Toce (Foglia L., 2000). Alcuni eventi, presentando diversi picchi di portata, sono stati divisi in più parti. In effetti nelle simulazioni si è mirato a riprodurre il meglio possibile il picco dell'evento in quanto questo è lo scopo del modello previsionale. Per ciascuno degli eventi si è cercato l'insieme dei parametri che riproducesse al meglio l'idrogramma misurato. La tabella seguente elenca gli eventi storici analizzati e il valore identificato dei parametri fisici.

Evento	Periodo	CN	k	n
Settembre 1993	20.09-23.09	43	3,4	1,7
	24.09-30.09	72	4,8	1,7
Ottobre 1993	01.10-05.10	49	3,1	2,0
	06.10-07.10	44	3,7	2,1
	08.10-12.10	76	4,4	2,2
	12.10-13.10	67	3,9	2,0
	13.10-20.10	77	4,1	2,1
Maggio 1996	15.05-25.05	63	4,2	1,8
Novembre 1996	10.11-24.11	51	4,3	2,2
Giugno-Luglio 1997	20.06-25.06	49	4,5	1,9
	25.06-05.07	51	4,1	1,9
Agosto 1997	25.08-31.08	44	4,2	1,7
<b>media</b>			<b>4,1</b>	<b>1,9</b>

Tabella VI-3. Eventi storici analizzati

Dalla tabella si vede come per i parametri (k,n) legati alla convoluzione delle piogge si possono identificare dei valori medi applicabili a tutti gli eventi, mentre il valore di CN varia in modo significativo da evento a evento. La differenza tra le portate di picco calcolate con il set di parametri ottimali e quelle ottenute con il set di parametri medi è dell'ordine dell'1%. Come confronto, i valori di k e n per il bacino del fiume Ticino fino alla sezione di chiusura di Bellinzona valgono 4,8 rispettivamente 2,2.

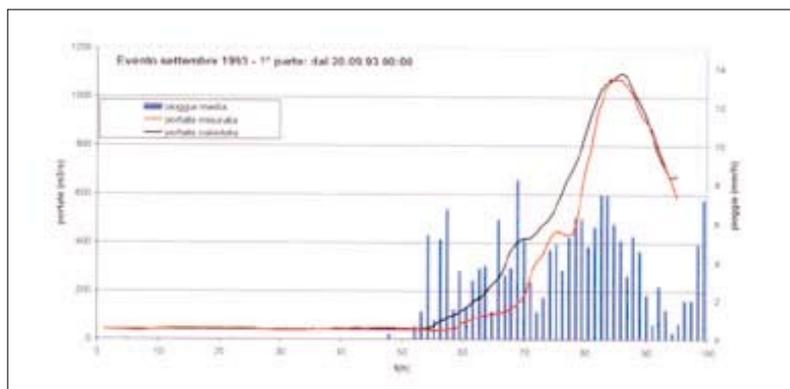


Figura VI-2. Evento settembre 1993

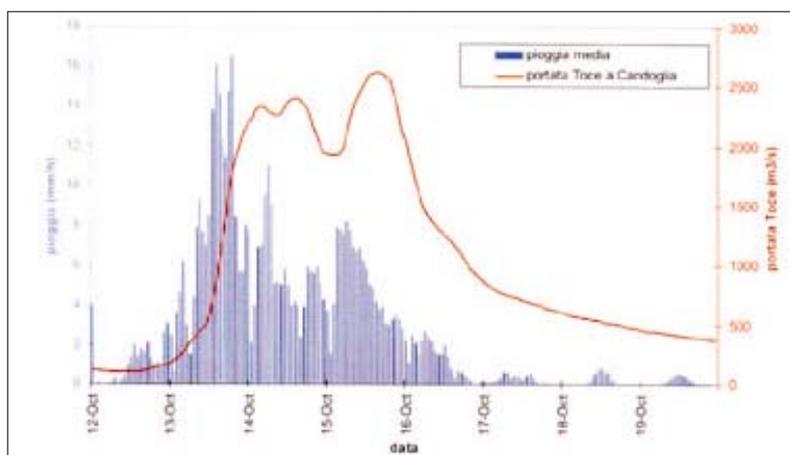


Figura VI-3. Evento ottobre 2000

La figura VI-2 mostra, come esempio, la simulazione di uno degli eventi usati per la calibrazione: per i parametri di convoluzione sono stati usati i valori medi indicati nella tabella precedente. La curva in colore rosso indica la portata del fiume Toce misurata a Candoglia, quella in nero la portata simulata dal modello usando come dati in entrata le piogge orarie misurate, indicate in colore blu.

#### VI-2.4. Evento alluvionale dell'ottobre 2000

Il modello idrologico previsionale viene attivato per stimare la portata futura dei fiumi. Il modello si calibra, ossia ricerca il miglior valore del parametro CN, usando tutte le misure a disposizione fino all'istante della previsione, in modo da riprodurre nel modo migliore la portata misurata. In seguito usa le previsioni di pioggia oraria fornite dai modelli meteorologici per stimare l'andamento futuro della portata.

Nel corso dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000, il modello è stato usato per i bacini dei fiumi Ticino e Maggia e un modello analogo, ma comprendente anche il comportamento delle aste fluviali e dei bacini di ritenzione, è stato impiegato per prevedere la quota del lago Verbano (Salvadè G., ottobre 2000).

Non è stato invece possibile applicare il modello per la previsione della portata del fiume Toce in quanto, pur conoscendo in tempo reale il livello del fiume, la relazione per la trasformazione del livello in portata sovrastimava quest'ultima per cui il modello non riusciva a calibrarsi. L'evento alluvionale è riassunto in figura VI-3 dove la portata del Toce a Candoglia è stata calcolata a posteriori dopo la correzione della relazione livello/portata.

A posteriori, dopo la correzione della relazione livello-portata, sono state eseguite anche alcune simulazioni di previsione. Le previsioni di pioggia sono fornite dal modello meteorologico svizzero (SwissModel) il cui reticolo ha maglie di 14 km di lato e si estendono su un periodo di 48 ore a partire da mezzanotte o da mezzogiorno. Di seguito sono rappresentate e brevemente discusse alcune previsioni effettuate in istanti successivi nel corso dell'evento. Non è stato effettuato nessun ritocco a posteriori delle previsioni. Nei grafici seguenti, in rosso è indicato l'andamento misurato della portata del fiume Toce a Candoglia, che assieme a tutte le misure di pioggia a disposizione fino all'istante della previsione, serve al modello per autotararsi.

In nero è indicata l'evoluzione futura della portata, calcolata dal modello in base alle piogge previste. La freccia indica l'istante della previsione.

La curva tratteggiata in blu rappresenta l'andamento della portata misurata a posteriori come confronto tra previsione e realtà.

Poiché le previsioni di pioggia dello SM si estendono solo su 48 ore, anche la previsione della quota termina con la fine temporale della previsione di pioggia.

#### VI-2.4.1. *Previsione del 13 ottobre - ore 8:00*

La figura VI-4 mostra la previsione del modello eseguita con i dati noti fino al 13 ottobre alle ore 08:00.

Il modello avrebbe azzeccato il valore della portata dopo due giorni ma avrebbe sbagliato completamente il valore di picco. In effetti la previsione di pioggia dello SwissModel per il 13 e 14 ottobre ha sottostimato l'evento, come è mostrato in figura VI-5. Calcolando la pioggia totale che sarebbe caduta sul bacino del Toce in quei due giorni usando i dati previsti, si ottiene un valore di 331.000 migliaia di m<sup>3</sup>, mentre lo stesso calcolo eseguito con i valori di pioggia misurati danno il valore di 505.000 migliaia di m<sup>3</sup>. Essendo il quantitativo di pioggia prevista molto minore di quanto poi effettivamente precipitato, anche la portata prevista rimane molto inferiore alla realtà. Il parametro CN, usato dal modello per calibrarsi, vale 56.

Figura VI-4. Previsione 13 ottobre - ore 8:00

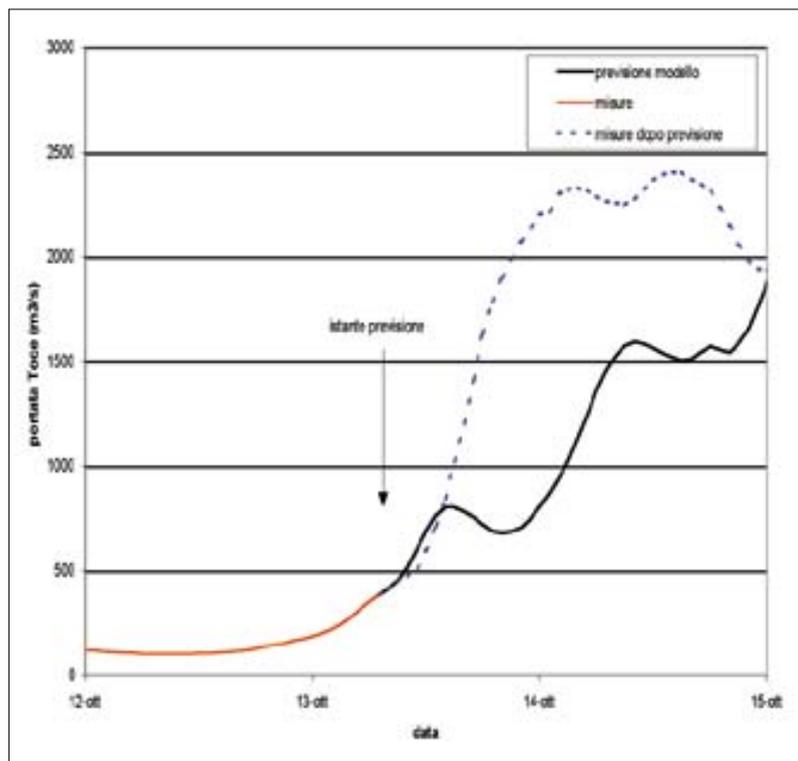
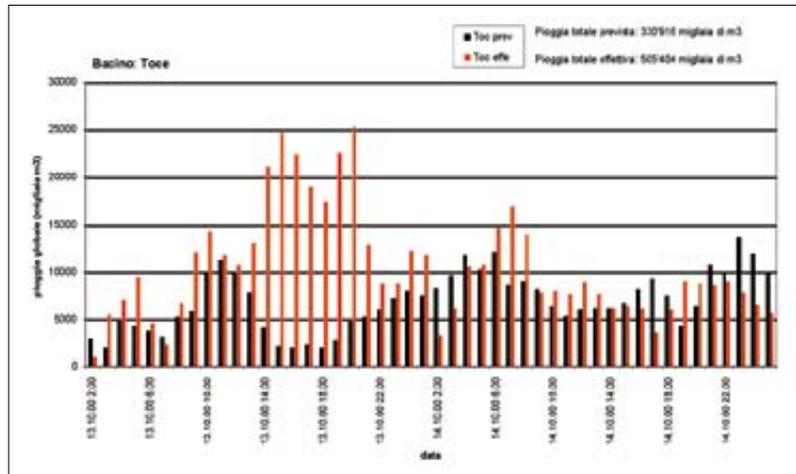


Figura VI-5. Confronto pioggia prevista - pioggia misurata per il 13 e 14 ottobre



#### VI-2.4.2. Previsione del 14 ottobre - ore 8:00

La figura VI-6 mostra la previsione del modello eseguita con i dati noti fino al 14 ottobre alle ore 08:00.

Il modello sbaglia completamente la previsione. Pur trovando un valore accettabile dei parametri (CN = 47) per la calibrazione della portata al

momento della previsione, il modello prevede una notevole riduzione della portata per i prossimi due giorni.

Il confronto (figura VI-7) tra pioggia totale prevista e misurata dà i valori di 264.000 rispettivamente 385.000 migliaia di m<sup>3</sup>, per cui il modello continua a sottostimare la portata del fiume Toce.

Figura VI-6. Previsione 14 ottobre - ore 08:00

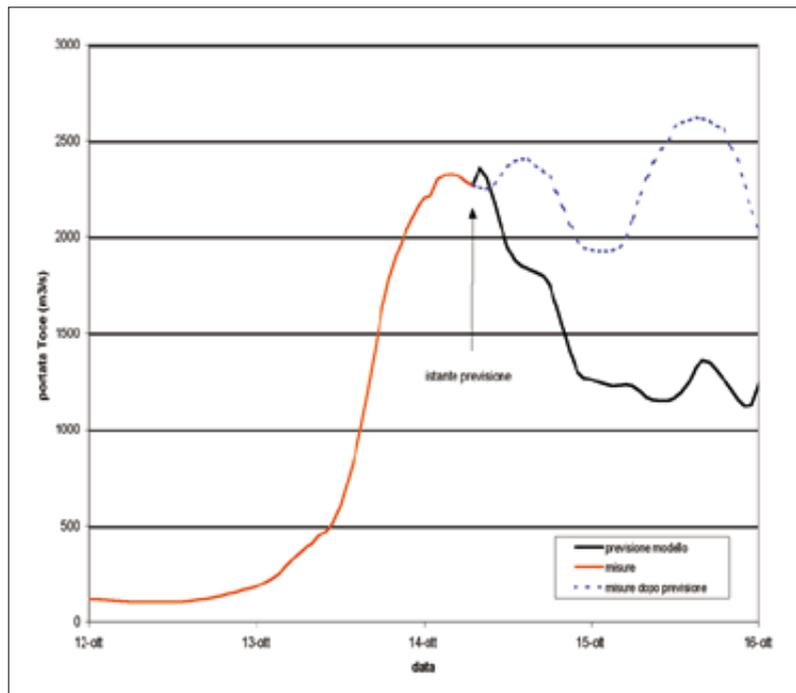
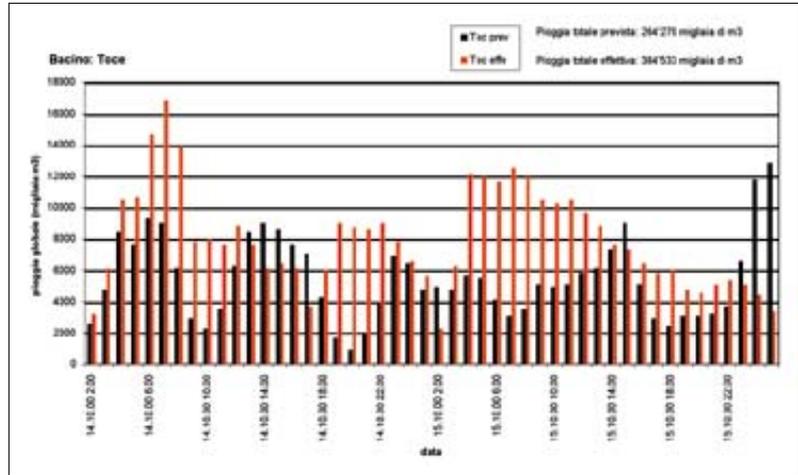


Figura VI-7. Confronto pioggia prevista - pioggia misurata per il 14 e 15 ottobre



**VI-2.4.3. Previsione del 15 ottobre**

La figura VI-8 mostra la previsione del modello eseguita con i dati noti fino al 15 ottobre alle ore 08:00. Il modello sottostima leggermente il picco di

portata, azzeccandone però l'istante.

La pioggia prevista era di 131.000 migliaia di m<sup>3</sup> mentre quella misurata di 228.000 migliaia di m<sup>3</sup>, per cui la portata prevista si mantiene sotto la portata misurata.

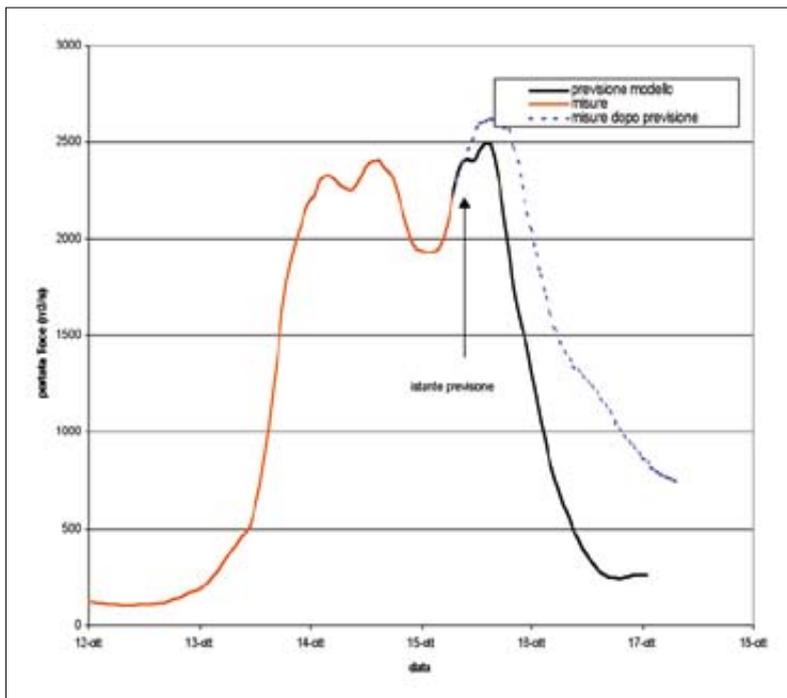


Figura VI-8. Previsione 15 ottobre - ore 8:00

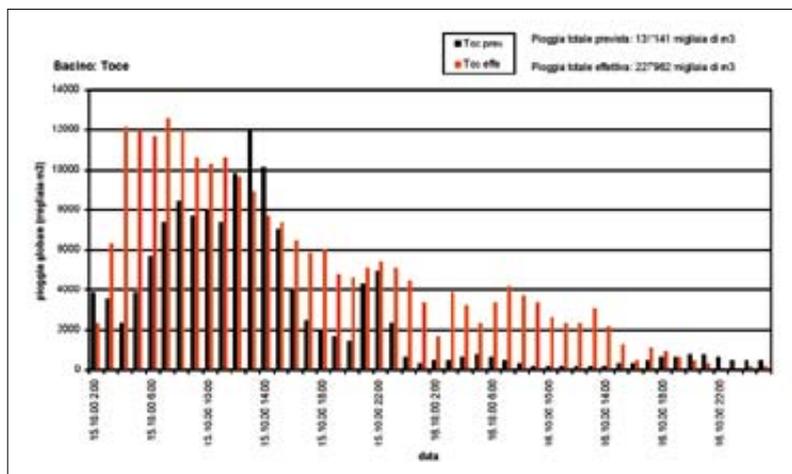


Figura VI-9. Confronto pioggia prevista - pioggia misurata per il 15 e 16 ottobre

#### VI-2.4.4. Simulazione con piogge effettive

La figura VI-10 mostra la simulazione completa dell'evento dell'ottobre 2000 usando come dati d'ingresso del modello le piogge misurate. Il valore del parametro CN (curva in colore nero) è stato imposto uguale a quello usato nella simulazione della quota del lago

Verbano e che ha dato buoni risultati: il modello sovrastima il primo picco di portata e sottostima il secondo.

Il modello non è in grado di gestire la coda dell'evento perché non contiene il meccanismo di scambio tra falda e fiume alla fine delle precipitazioni e quindi la portata diminuisce più rapidamente di quanto avvenga in realtà.

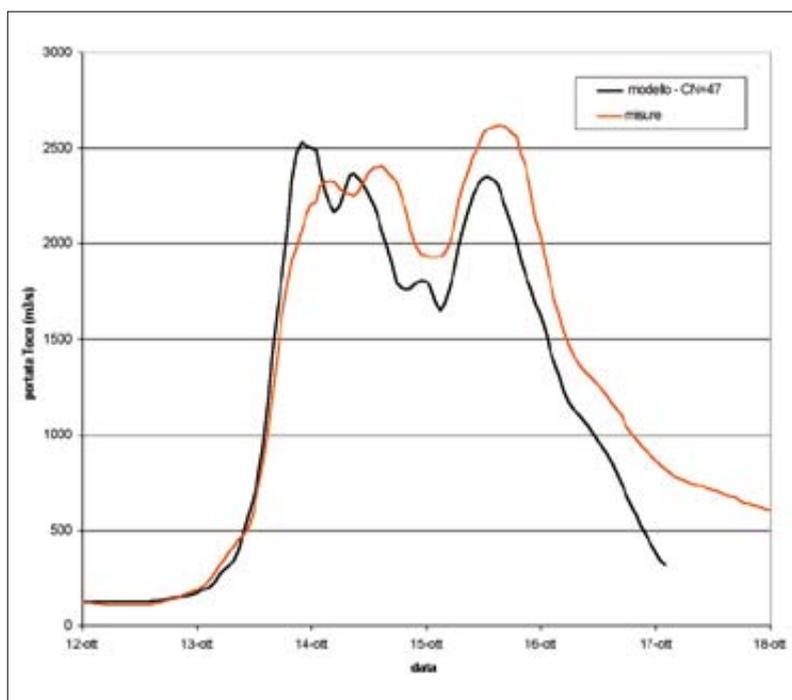


Figura VI-10. Simulazione con piogge misurate - CN = 47

## VI-2.5. Conclusione

L'attendibilità del modello idrologico previsionale è legata a due categorie di errori: l'errore di modello e l'errore delle previsioni.

L'errore di modello è dovuto essenzialmente alla schematizzazione del bacino imbrifero reale in un sistema semplificato (metodo del CN e di Nash) e all'estrapolazione areale delle piogge. Analisi eseguite presso l'IST sulle portate del fiume Ticino e della Maggia (con calibrazione a posteriori) hanno mostrato che questo errore è tollerabile: il modello riesce a simulare il colmo di piena con un errore (mediato su diversi eventi storici) relativo alla portata di picco dell'ordine del 1% per il Ticino e del 4% per la Maggia.

Nella previsione in tempo reale intervengono altri tipi di errore dovuti al fatto che l'andamento del picco di portata va simulato prima di avere le informazioni sulla sua durata. L'errore nelle previsioni è essenzialmente dovuto a due motivi:

- la mancata conoscenza delle portate future impone la calibrazione sulla forma della curva prima del picco. Essendo la parte iniziale dell'evento fortemente influenzata dal comportamento

degli invasi di ritenzione, questa calibrazione introduce un fattore di incertezza aggiuntivo, anche se si conoscessero con assoluta precisione le piogge future. La calibrazione all'inizio dell'evento fa aumentare l'errore relativo medio di modello a circa il 6% sul valore dei picchi nelle portate dei fiumi;

- l'errore nella previsione della pioggia futura. Il tempo di risposta del bacino è di circa 6 ore per cui il peso delle piogge previste risulterà preponderante dopo poche ore dall'istante della previsione rispetto alla pioggia pregressa che interessa solo la prima parte dell'intervallo di previsione. Per un singolo pluviometro i meteorologi stimano l'errore massimo delle previsioni dello Swiss Model compreso tra -60% e +100%. Essendo però la pioggia che conta agli effetti del deflusso quella media sul bacino, è possibile che gli errori sulle diverse aree si compensino e, analogamente, potrebbero compensarsi gli errori nel tempo.

In ogni caso la qualità della previsione in tempo reale della portata dipenderà principalmente dalla qualità di previsione delle precipitazioni.

## Bibliografia

VEN TE CHOW, David R. MAINDMENT, LARRY W., (1988), *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

PISANI S., giugno (1997), *Sistema per la previsione in tempo reale delle onde di piena sul Ticino e sulla Maggia e della quota del Verbano*. Rapporto interno dell'Istituto Scienze della Terra-SUPSI, Cadenazzo.

SALVADÈ G., PISANI S., DEI A., (ottobre 1998), *Il monitoraggio, un mezzo per la riduzione dei danni: previsione in tempo reale della quota del Verbano, Verbano Analisi e gestione di un sistema complesso*, Istituto Scienze della Terra-SUPSI, Cadenazzo.

FOGLIA L., (febbraio 2000), *Bacino del Toce: Identificazione dei parametri fisici per la trasformazione pioggia/deflussi*. Rapporto interno dell'Istituto Scienze della Terra-SUPSI, Cadenazzo.

FOGLIA L., (febbraio 2000), *Analisi dell'errore relativo sulle portate in dipendenza dalla variazione di CN, k e n*. Rapporto interno dell'Istituto Scienze della Terra-SUPSI, Cadenazzo.

SALVADÈ G., (ottobre 2000), *Evento alluvionale 12-17 ottobre 2000, Risultati del modello per la previsione della quota della superficie del lago Verbano*. Rapporto interno dell'Istituto Scienze della Terra-SUPSI, Cadenazzo.

### VI-3. SOGLIE PLUVIOMETRICHE

La finalità dello studio è stata quella di ricercare un possibile legame fra le altezze di precipitazione nell'area del Verbano Cusio Ossola e l'entità dei loro effetti negativi sul territorio provinciale da utilizzare nell'ambito del sistema di allertamento della Regione Piemonte sia nella fase previsionale, sia durante il monitoraggio dell'evento per l'interpretazione dei dati acquisiti.

Il risultato atteso dal lavoro è quindi quello di trovare dei valori soglia di precipitazione che discriminano la possibilità del verificarsi di fenomeni di erosione e/o esondazione dei corsi d'acqua appartenenti all'intero reticolo idrografico nonché del potenziale innesco di processi di instabilità di versante.

Di fondamentale importanza per lo svolgimento della ricerca sono quindi i dati di altezza di precipitazione e le segnalazioni di fenomeni di dissesto-erosione-esondazione relativi al territorio provinciale.

#### VI-3.1. Banca dati geologica della Regione Piemonte

La principale fonte da cui si sono attinti i dati relativi ai fenomeni di dissesto è la banca dati geologica della Regione Piemonte.

In tale banca dati sono raccolte circa un migliaio di segnalazioni relative ai fenomeni di dissesto verificatisi nel territorio della provincia del Verbano Cusio Ossola. Le principali informazioni raccolte per ciascuna segnalazione consistono nella localizzazione spaziale dell'evento mediante l'identificazione del comune, località, bacino e sottobacino di appartenenza, la data di inizio e fine evento oltre alla descrizione del tipo di fenomeno, degli effetti e dei danni causati al territorio.

In particolare nelle schede sono riportati i seguenti parametri:

- attività, cioè natura del fenomeno che può riguardare processi di instabilità di versante, attività fluviale o torrentizia, avvallamenti di sponda ecc.;
- tipologia dell'attività ossia crolli, colate di terreno, di detriti ecc., frane di varia natura, piena, trasporto di massa torrentizio ecc.;
- tipo di segnalazione che può riguardare un fenomeno verificatosi, potenziale o in atto;
- effetti determinati sul territorio che possono essere erosioni di sponda, di fondo, ecc., disallineamento, allagamento, deviazione alveo, ostruzione parziale di alveo, trasporto solido ecc.;
- danni determinati sul territorio antropizzato intesi come edifici, tronchi stradali, infrastrutture, opere idrauliche ecc. distrutti, danneggiati o

minacciati, presenza di vittime ecc.

Ad integrazione di questi dati è stata condotta una ricerca specifica presso gli archivi del CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano (IRPI) di Torino che ha consentito di estrarre oltre 500 segnalazioni classificate con la stessa modalità sopra descritta (Brunamonte F., Vassallo N., marzo 2001).

#### VI-3.2. Individuazione e classificazione degli eventi significativi

Gli eventi che hanno determinato danni sul territorio sono stati individuati selezionando, fra quelli appartenenti alle banche dati indicate nei paragrafi precedenti, quelli che, per lo stesso evento catastrofico, hanno interessato un areale importante per estensione e/o sono stati interessati da più segnalazioni e in più località.

La necessità di disporre contemporaneamente dei dati pluviometrici e di quelli relativi alla tipologia ed entità degli effetti sul territorio, ha determinato un ridimensionamento degli eventi inizialmente presi in considerazione. Infatti, in prima battuta dall'analisi dei dati geologici erano stati selezionati 32 eventi che abbracciavano il periodo compreso fra gli anni 1640 e 2000, ridimensionati successivamente a 19 per la carenza di contemporanee informazioni attendibili relative ai dati pluviometrici, in particolare per gli eventi appartenenti ai secoli passati e fino alla prima metà del 1900. D'altra parte eventi verificatesi in tempi molto lontani dai giorni nostri sono meno interessanti per lo scopo dello studio perché hanno interagito con un territorio antropizzato profondamente diverso da quello di oggi, a causa della sostanziale modificazione delle aree urbanizzate e del reticolo delle infrastrutture che hanno subito un notevole sviluppo negli ultimi decenni. Infatti queste aree, che sono in continua evoluzione, sono le porzioni di territorio più delicate e alle quali un sistema di allertamento per situazioni pluviometriche di particolare attenzione deve prioritariamente rivolgersi: per ottenere un risultato attendibile è consigliabile pertanto utilizzare dati che hanno interagito con un territorio configurato il più possibile simile all'attuale.

I periodi utilizzati sono stati i seguenti:

- 13-17 maggio 1926
- 02-04 settembre 1948
- 02-04 settembre 1951
- 19-20 agosto 1958
- 09-11 settembre 1965
- 02-04 novembre 1968
- 01-07 ottobre 1976
- 06-21 ottobre 1977
- 07-08 agosto 1978

- 14-16 ottobre 1979
- 21-27 settembre 1981
- 10-11 settembre 1983
- 26-28 aprile 1986
- 23-26 agosto 1987
- 26-30 settembre 1991
- 22 settembre - 12 ottobre 1993
- 04-07 novembre 1994
- 08 luglio 1996
- 13-16 ottobre 2000

Le segnalazioni relative ai fenomeni di dissesto appartenenti agli eventi così selezionati sono state distinte secondo i due criteri sotto descritti.

- a) Entità del danno, con la suddivisione in danni ingenti ("danno +") e danni modesti ("danno -"). Questa suddivisione è stata operata sulla base della maggiore o minore gravità degli effetti che si sono avuti sul territorio secondo la seguente modalità:
- 1.danno ingente: eventi che hanno provocato gravi danneggiamenti e distruzioni, anche parziali, di centri abitati, opere viarie e infrastrutture in genere, anche con presenza di vittime e su una estesa porzione di territorio;
  - 2.danno modesto: eventi che hanno minacciato e provocato danneggiamenti parziali di centri abitati, opere viarie e infrastrutture in genere su una modesta porzione di territorio.
- La complessità dei fenomeni trattati viene così affrontata realizzando una semplice classificazione che consente un agevole utilizzo dei dati nel rispetto delle esigenze del presente lavoro.

- b) Sottobacino idrografico di appartenenza, definito nello specifico dai seguenti sottobacini appartenenti al territorio provinciale: Valle Anzasca, Valle Antrona, Valle Bognanco, Val Divedro, Valle Antigorio-Devero-Formazza, Valle Vigezzo-Cannobina, Ossola (compresa fra gli abitati di Domodossola e Gravello Toce), Verbano (comprendente l'areale racchiuso fra gli abitati di Gavellona Toce e Cannobio oltre che la parte sud della Val Grande) e Cusio (comprendente anche la Valle Strona e l'alto Vergante).

Questa scelta si è rivelata soddisfacente in quanto per uno stesso evento alluvionale nel caso di presenza di più segnalazioni relative ai fenomeni di dissesto, queste sono pressoché concordi nell'attribuzione del tipo di entità del danno all'interno dello stesso sottobacino di appartenenza mentre cambiando sottobacino in generale cambia anche la gravità dei danni. Inoltre questo tipo di approccio si ritiene che realizzi un buon compromesso riguardo le due contrastanti esigenze di mantenere un buon dettaglio in merito al comportamento degli

areali appartenenti al territorio provinciale e la necessità di raggruppare le segnalazioni in areali aventi una certa estensione, utile per ottenere una buona visione d'insieme dei fenomeni in oggetto.

### VI-3.3. Attribuzione altezza di precipitazione - entità danni

Per quanto riguarda i dati relativi alle stazioni pluviometriche sono state raccolte le altezze di precipitazione significative per la caratterizzazione dell'evento catastrofico e relative alle durate di 1, 3, 6, 12, 24 e 48 ore. Per ogni singolo evento sono state utilizzate le altezze di precipitazione relative alle durate che risultavano essere più critiche caso per caso.

Per far ciò sono state utilizzate le Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) di assegnato tempo di ritorno e confrontate con i valori di pioggia misurata. Le LSPP per un determinato sito possono essere ricavate dall'elaborazione statistica delle serie storiche di pioggia misurate in quella stazione, ma, in generale, dove non si dispone delle misure si ricorre ad un approccio regionale che stima i parametri delle leggi di distribuzione su aree omogenee e poi vengono ricavate le LSPP su qualunque punto della regione attraverso tecniche di interpolazione geostatistiche. Per questo lavoro è stata utilizzato il programma RAP (Raifall Analysis Package) (Burlando et al., 1996) e nella figura VI-11 è ripotato un esempio di confronto.

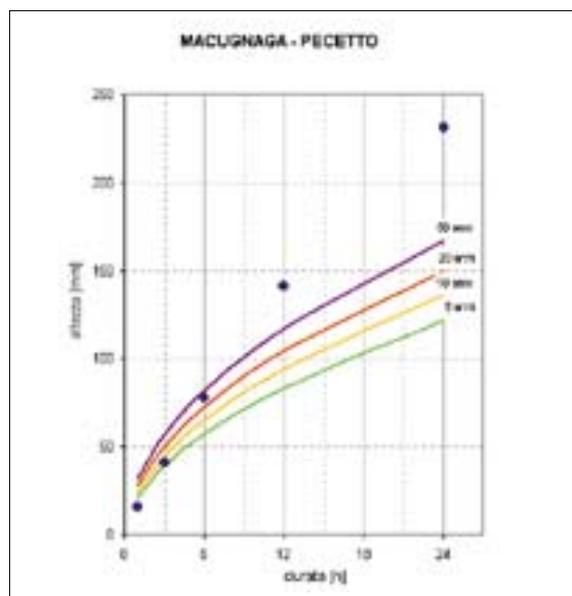


Figura VI-11. Confronto tra le precipitazioni del 13-16 ottobre 2000 a Macugnaga (rappresentate con il simbolo circolare) e le LSPP di assegnato tempo di ritorno

Sono state utilizzate le stazioni appartenenti all'areale definito dal relativo sottobacino ad eccezione di quei casi in cui la scarsità dei dati di precipitazione ha reso necessario il ricorso ad altre stazioni vicine all'areale interessato.

Il passo successivo riguarda l'attribuzione dell'entità del danno commisurato con le altezze di precipitazione per le diverse durate relativamente ai sottobacini interessati per gli eventi selezionati.

È questo il passaggio fondamentale del lavoro e che richiede maggior attenzione nelle valutazioni che in alcuni casi necessitano una verifica dei dati a posteriori con il raffronto dei risultati globali ottenuti.

La metodologia operativa seguita è la seguente.

Per i sottobacini che dispongono di più valori di altezza di precipitazione per ciascuna durata si attribuisce un unico valore pari al massimo dei valori per tutte le durate di 1, 3, 6 e 12 ore e pari alla media dei singoli valori per le durate di 24 e 48 ore.

Le casistiche normalmente riscontrabili e che non determinano situazioni di incertezza sull'attribuzione del tipo di danno sono: danni moderati associati ad altezze di precipitazione modeste e danni ingenti associati ad altezze di precipitazione elevate.

Occasionalmente si verifica il caso di danno moderato associati ad altezze di precipitazione elevate; in questo caso è stato attribuito "danno -". La situazione non determina contraddizioni con la finalità ultima di ricercare dei valori soglia per la definizione dei quali interessano i valori minimi. Dal punto di vista fisico questa situazione si può spiegare con il fatto che la precipitazione è una grandezza estremamente variabile oltre che nel tempo anche nello spazio e quindi il dato registrato dalla stazione pluviometrica essendo puntuale può essere anche molto diverso da quello che si potrebbe misurare nelle aree circostanti. Occorre però rilevare anche che, per la complessità dei fenomeni trattati, la sola grandezza "precipitazione" può risultare limitante soprattutto in casi simili per i quali occorrerebbe prendere in considerazione anche gli altri parametri fisici che intervengono (temperature, vento, natura dei detriti di versante, ricorrenza media delle frane ecc.).

Infine il caso di danno ingente associato ad altezze di precipitazione modeste viene generalmente scartato se la misura non è sufficientemente vicina al luogo dove si sono registrati i danni in quanto diversamente si otterrebbe un dato che falserebbe i valori soglia ricercati. Per il significato fisico anche in questo caso vale quanto osservato al punto precedente.

#### VI-3.4. Valori soglia delle altezze di precipitazione

L'esame dei dati così ottenuti consente di pervenire alla fase conclusiva dello studio che prevede l'attribuzione di un valore soglia delle altezze di precipitazione per ciascuna durata e per le due tipologie di danni considerati.

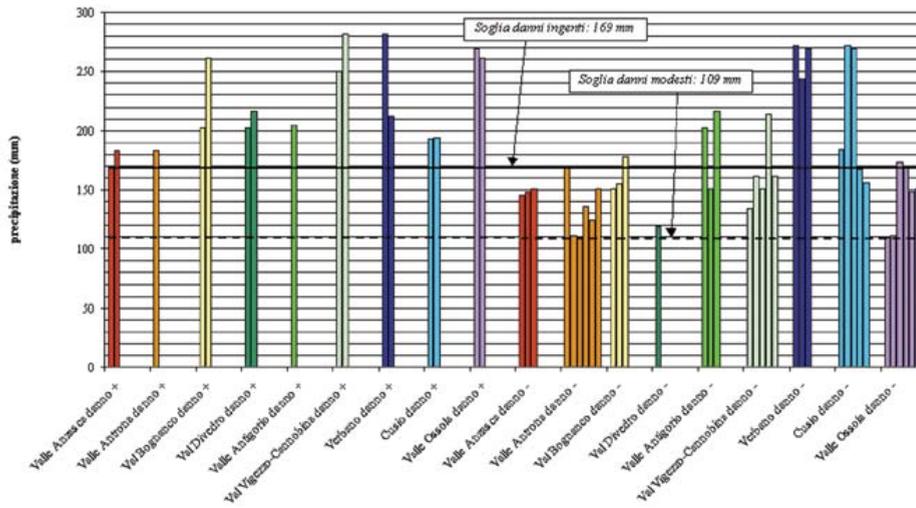
Raggruppando tutti i sottobacini considerati e ricercando il valore minimo dell'altezza di precipitazione per ciascuna durata si ottengono i seguenti valori soglia.

Entità dei danni	Altezza di precipitazione (mm)					
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore
Danno modesto	30	51	80	109	160	214
Danno ingente	49	92	122	169	223	264

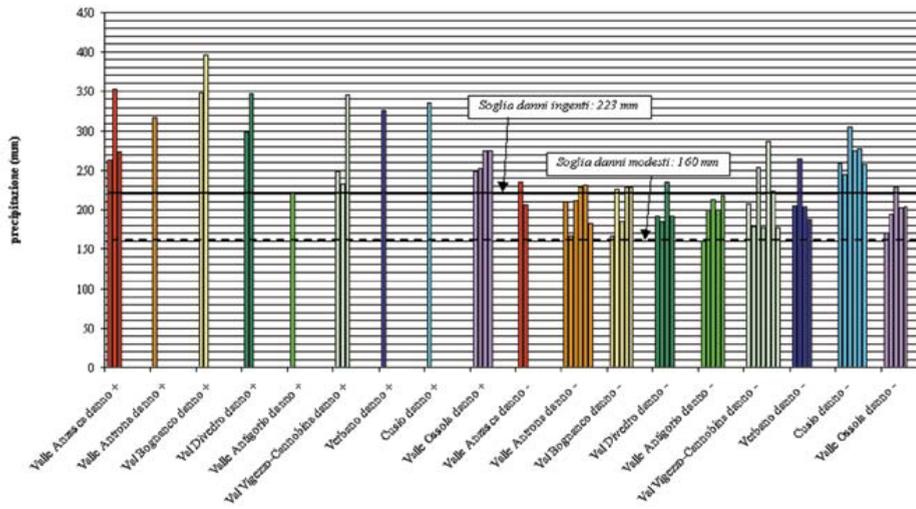
I risultati ottenuti vengono meglio visualizzati nei grafici della figura VI-12 la quale riporta tutti i valori utilizzati ed i valori soglia. In particolare il primo grafico riporta le altezze di precipitazione in ordinata e le rispettive durate in ascissa per tutti i sottobacini e per i valori soglia, definiti questi ultimi dalla retta inviluppo inferiore mentre negli istogrammi che seguono si riportano le altezze di precipitazione distinte per sottobacino e tipologia di danno per ciascuna delle sei durate considerate.



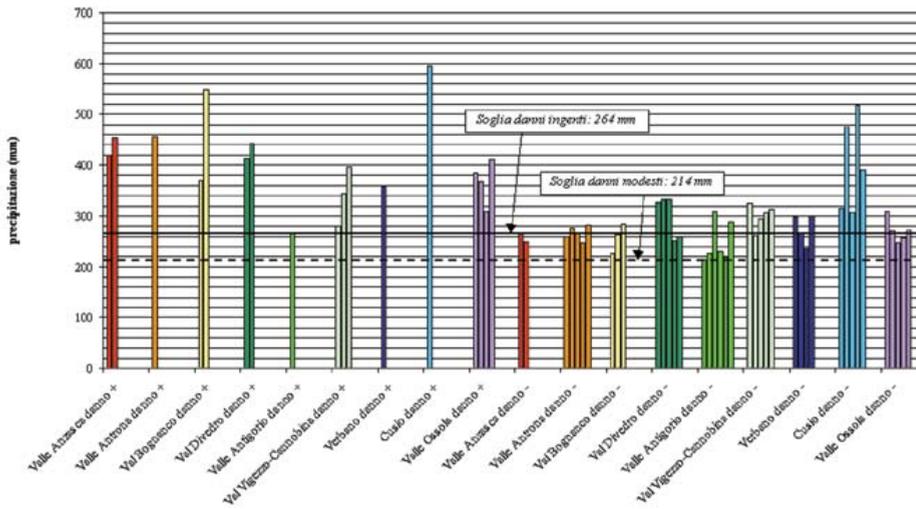
d) Precipitazione (d=12 ore) che ha originato danni nella Provincia del Verbano Cusio Ossola (anni 1926-2000)



e) Precipitazione (d=24 ore) che ha originato danni nella Provincia del Verbano Cusio Ossola (anni 1926-2000)



f) Precipitazione (d=48 ore) che ha originato danni nella Provincia del Verbano Cusio Ossola (anni 1926-2000)



## Bibliografia

SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, (1913-1985), *Annali idrologici del bacino del Po - parte I*.

REGIONE PIEMONTE, (2001), *Precipitazioni e Temperature dal 1990 al 1999*. Collana studi climatologici in Piemonte - Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e reti di monitoraggio;

REGIONE PIEMONTE, (ottobre 2000), *Rapporto sull'evento del 13-16 ottobre 2000 - parte I - L'attività di previsione e monitoraggio meteo-idrometrica*. Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione.

REGIONE PIEMONTE, (ottobre 2000), *Rapporto sull'evento del 13-16 ottobre 2000 parte II - Effetti sulle aree antropizzate*. Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione.

REGIONE PIEMONTE, (1990), *Banca dati geologica*. Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico.

BRUNAMONTE F., VASSALLO N., (marzo 2001), *Fenomeni storici di dissesto nel Verbano Cusio Ossola (VCO)*. Rapporto interno CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano (IRPI).

BURLANDO P., OLIVA G., ROSSO R., (ottobre 1996), *RAP (Raifall Analysis Package) Valutazione Automatica del rischio idrometeorologico sul Territorio*. Manuale Teorico e Manuale Utente.